

**РОЗВИТОК ФАХОВИХ КОМПЕТЕНТНОСТЕЙ
КУРСАНТІВ-СУДНОМЕХАНІКІВ: ФІЗИЧНИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ,
CHATGPT ТА АНАЛІЗ ЗАСТОСУВАННЯ ПІРОМЕТРІВ
У СУДНОВИХ СИСТЕМАХ**

С.О. Яремчук¹, І.З. Маслов²

¹к.т.н., доцент кафедри управління в транспортній галузі,
Дунайський інститут Національного університету «Одеська морська академія»,
Ізмаїл, Одеська область, Україна,
ORCID ID: 0000-0002-6736-1471

²к.т.н., доцент, завідувач кафедри судових енергетичних установок і систем,
Дунайський інститут Національного університету «Одеська морська академія»,
Ізмаїл, Одеська область, Україна,
ORCID ID: 0000-0003-1759-6077

Анотація

Вступ. В роботі обґрунтована необхідність поглиблення знань курсантів-судномеханіків щодо явищ та законів теплового випромінювання шляхом проведення фізичного експерименту та застосування системи штучного інтелекту. Описана проблема недостатнього зв'язку між теоретичними знаннями курсантів фізичних законів та їх практичним застосуванням в обладнанні суднових систем. **Метою роботи** є розвиток фахових компетентностей курсантів-судномеханіків шляхом дослідження явища теплового випромінювання, та використання ChatGPT для пошуку інформації щодо застосування пірометрів у суднових системах. **Результати.** Розроблена та апробована покрокова методика, яка описує лабораторне дослідження явища теплового випромінювання; виконання розрахунків фізичних величин; пошук за допомогою ChatGPT інформації щодо видів, переваг, недоліків та областей застосування пірометрів у суднових системах; аналіз інформації та розробку багатоаспектної класифікації пірометрів суднових систем. **Висновки.** В роботі застосований крос-дисциплінарний підхід, який поєднує теоретичні знання та практичні навички в області фізики, інформаційних технологій та системного аналізу. Запропоновані методикою активності дали змогу підвищити рівень розвитку фахових компетентностей курсантів-судномеханіків і забезпечили підвищення абсолютної успішності на 16%, якості на 11% за результатами іспиту. Визначені переваги застосування ChatGPT, відмічена неможливість використання штучного інтелекту в складних системах управління без участі людини через неможливість передбачення та навчання системи для усіх можливих комбінацій ситуацій та подій.

Ключові слова: теплове випромінювання, фізичний експеримент, штучний інтелект, пірометри суднових систем.

**DEVELOPMENT OF PROFESSIONAL COMPETENCIES AMONG
CADET-SHIP MECHANICS: PHYSICAL EXPERIMENT, CHATGPT,
AND ANALYSIS OF THE USE OF PYROMETERS IN SHIP SYSTEMS**

S.O. Yaremchuk¹, I.Z. Maslov²

¹PhD, Associate Professor at the Department of Transport Management,
*Danube Institute of National University "Odesa Maritime Academy",
Izmail, Odesa region, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0002-6736-1471*

²Ph.D., Associate Professor, Head of the Department of Ship Power Plants and Systems,
*Danube Institute of National University "Odesa Maritime Academy",
Izmail, Odesa region, Ukraine,
ORCID ID: 0000-0003-1759-6077*

Summary

Introduction. *The work substantiates the need to deepen the knowledge of cadet-ship mechanics in the field of the phenomena and laws of thermal radiation by conducting a physical experiment and using an artificial intelligence system. The problem of insufficient connection between the theoretical knowledge of cadets and the practical application of that knowledge in ship system equipment is described. **The purpose** of this work is to develop the professional competencies of cadet-ship mechanics through the study of the thermal radiation phenomenon and the use of ChatGPT to search for information about the use of pyrometers in ship systems. **Results.** The technique has been developed and tested. The technique describes a laboratory study of the thermal radiation phenomenon. Using ChatGPT, we searched for information about the types, advantages, disadvantages, and applications of ship pyrometers. We then analyzed this information and developed a multi-aspect classification scheme for ship pyrometers. **Conclusions.** The work utilizes a cross-disciplinary approach that combines theoretical knowledge and practical skills in the fields of physics, information technology, and systems analysis. The activity-based methodology proposed in this work has enabled the development of professional competencies among cadet-ship mechanics and led to a 16% increase in overall success rates and an 11% improvement in exam scores. The advantages of the ChatGPT AI system have been identified, but the inability of AI to operate in complex management systems without human involvement due to the impossibility of predicting and teaching the system for all possible situations and events has been noted.*

Key words: *thermal radiation, physical experiment, artificial intelligence, ship system pyrometers.*

Вступ. Важливою складовою освітньої підготовки за спеціальністю 271 «Морський та внутрішній водний транспорт» спеціалізації 271.02 «Управління судновими технічними системами і комплексами» є набуття курсантами фахових компетентностей з фізики, які дають можливість майбутнім судновим механікам критично осмислювати основні поняття, принципи та методи сучасної морської інженерії; обирати та застосовувати інноваційні підходи та інструментальні засоби для розв'язання складних професійних задач; обґрунтовувати власну точку зору та висновки, використовуючи новітні теорії та концепції у сфері морської

інженерії. Фахові компетентності з фізики ґрунтуються на теоретичному вивченні та експериментальному дослідженні фізичних явищ та законів, які лежать в основі роботи суднових приладів, установок та систем.

Серед багаточисельних суднових вимірювальних приладів важливе місце посідають пірометри, які дозволяють вимірювати не лише температуру, а також вологість на певній відстані від об'єкту, розраховувати точку роси, попереджати про небезпеку утворення конденсату тощо. В основі роботи пірометрів лежать закони теплового випромінювання, тому їх вивчення, та аналіз застосування сучасних пірометрів в суднових системах є важливою та невід'ємною складовою фахової підготовки курсантів-судномеханіків.

Постановка проблеми. Знання явищ, моделей та законів теплового випромінювання є дуже важливою складовою фахової підготовки курсантів. Однак проблема полягає в тому, що лише теоретична підготовка не надає курсантам повної та цілісної картини цього явища. Для глибшого розуміння процесів теплового випромінювання необхідне експериментальне дослідження та кількісно оцінка фізичних величин, що характеризують теплове випромінювання. Наочний фізичний експеримент, власноруч проведений курсантами в лабораторних умовах, дає можливість задіяти їх асоціативну пам'ять, яка реалізує зв'язок між реальними діями та обставинами, і глибинними знаннями. Спогад проведеного експерименту здатен викликати в пам'яті курсантів пов'язані знання, дозволяючи думкам по ланцюжку мислених асоціацій рухатися від одних знань до інших. Саме асоціативні зв'язки витягують з глибин накопичених в пам'яті знань, досвіду, обставин, та уявлень саме ту інформацію, яка необхідна для вирішення професійних завдань.

Ще одна проблема полягає у слабкій прив'язці знань курсантів щодо теоретичних законів фізики до їх застосувань в приладах у складі суднового обладнання. Окрему категорію таких приладів складають пірометри – прилади безконтактного вимірювання температури нагрітих тіл за інтенсивністю їх теплового випромінювання. Для подолання розриву між знаннями теоретичних законів, та їх практичним застосуванням в суднових приладах, курсантам необхідна актуальна інформація щодо можливостей та областей застосування сучасних пірометрів у складі суднових систем, їх характеристик, особливостей роботи, переваг та недоліків.

Вирішення описаних проблем зумовлює необхідність огляду законів теплового випромінювання, проведення фізичного експерименту, необхідних розрахунків для кількісної оцінки фізичних величин, пошуку та аналізу актуальної інформації щодо практичного застосування пірометрів на судні.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Всі тіла випромінюють електромагнітні хвилі. Тепловим випромінюванням називається електромагнітне випромінювання, зумовлене збудженням атомів і молекул тіла за рахунок енергії їх теплового руху [1, с. 307–313]. Інтенсивність теплового випромінювання і його спектральний склад залежать від температури і хімічної природи тіла. Серед кількісних характеристик теплового випромінювання відомі такі:

– Випромінювальна здатність тіла (ВЗ) – це кількість енергії, що випромінюється за одиницю часу з одиниці площі тіла в одиничному інтервалі частот:

$$r(v, T) = \frac{dW_{\text{вип}}}{dt \cdot dS \cdot dv} \left[\frac{\text{Дж}}{\text{с} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{Гц}} \right] \quad (1)$$

– Інтегральна випромінювальна здатність (ІВЗ) – це кількість енергії, що випромінюється за одиницю часу з одиниці площі тіла у всьому інтервалі частот від нуля до нескінченності:

$$R_{\nu}(T) = \frac{dW}{dt \cdot dS} \left[\frac{Дж}{м^2 \cdot с} = \frac{Вт}{м^2} \right]. \quad (2)$$

Між ІВЗ $R_{\nu}(T)$ та ВЗ $r(\nu, T)$ існує зв'язок:

$$R_{\nu}(T) = \int_0^{\infty} r(\nu, T) \cdot d\nu. \quad (3)$$

Поглинальна здатність тіла (ПЗ) – це відношення поглиненої тілом енергії до всієї падаючої на тіло енергії в інтервалі частот від ν до $\nu + d\nu$:

$$a(\nu, T) = \frac{dW_{\nu}^{погл}}{dW_{\nu}^{пад}}. \quad (4)$$

При дослідженні законів теплового випромінювання застосовуються наступні фізичні абстракції. Абсолютно чорне тіло (АЧТ) – це фізична абстракція, під якою слід розуміти тіло, ПЗ якого для всіх частот і температур дорівнює одиниці: $a(\nu, T) = 1$. Моделлю АЧТ може бути порожня непрозора сфера з невеликим отвором (рис. 1). Промінь, проходячи крізь отвір А у порожнину С, багаторазово відбивається та практично цілком поглинається.

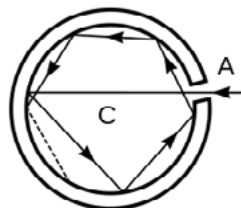


Рис. 1. Модель АЧТ

Абсолютно сіре тіло (АСТ) – це фізична абстракція, під якою слід розуміти тіло, ПЗ якого менше одиниці, однак постійна для всіх частот і температур. У кольорового тіла (КТ) ПЗ є функцією частоти і температури (рис. 2).

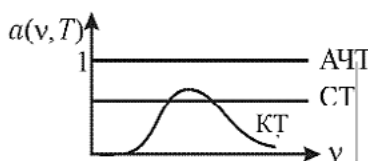


Рис. 2. Графічне зображення АЧТ, АСТ та КТ

Приведемо основні закономірності теплового випромінювання:

– Закон Кірхгофа встановлює зв'язок між ВЗ і ПЗ тіла: відношення ВЗ тіла до його ПЗ не залежить від природи тіла і дорівнює ВЗ АЧТ (при тій же частоті і температурі):

$$\frac{r_1(\nu, T)}{a_1(\nu, T)} = \frac{r_2(\nu, T)}{a_2(\nu, T)} = r^*(\nu, T), \quad (5)$$

де $r^*(\nu, T)$ – ВЗ АЧТ. Це відношення є універсальною (для всіх тіл) функцією частоти і температури. Основна проблема випромінювання АЧТ – визначення виду функції $r^*(\nu, T)$. Експерименти дозволили знайти цю залежність і сформулювати деякі частинні закони випромінювання АЧТ. Експериментальні залежності $r^*(\nu, T)$ для двох значень температури показані на рис. 3.

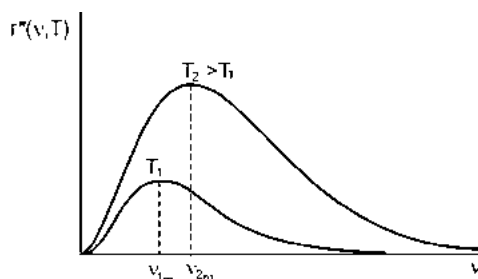


Рис. 3. Експериментальні залежності ВЗ для АЧТ для різних значень частот і температур

Аналіз графіку свідчить, що ВЗ для АЧТ падає при малих і великих частотах і досягає максимуму при деякому значенні ν_m . З ростом температури ВЗ зростає, а її максимальне значення зміщується в область великих частот.

– Закон Стефана-Больцмана: ІВЗ для АЧТ пропорційна четвертій степені його абсолютної температури, тобто

$$R_s^* = \sigma T^4, \quad (6)$$

де σ – стала Стефана-Больцмана.

– Закон Віна: частота, на яку приходиться максимум ВЗ для АЧТ, пропорційна його абсолютній температурі:

$$\nu_m = b T, \quad (7)$$

де b – стала Віна.

– Другий закон Віна: максимальна ВЗ для АЧТ пропорційна третій степені його абсолютної температури:

$$r^*(\nu_m) = CT^3 \cdot r^*(\nu, T). \quad (8)$$

Однак описані закони не дають можливості відтворити вигляд залежності $r^*(\nu, T)$. Для його знаходження Д. Релей і Д. Джинс використали класичний закон розподілу енергії за ступенями свободи, і запропонували формулу ВЗ для АЧТ:

$$r^*(\nu, T) = \frac{2\pi\nu^2}{c^3} kT, \quad (9)$$

де c – швидкість світла, k – стала Больцмана. Ця формула передбачає квадратичне зростання ВЗ зі збільшенням частоти ν , і співпадає з експериментальними даними в області малих частот. При збільшенні частоти ВЗ мала би нескінченно зростати. Однак теорія різко розходиться з експериментом. Цей парадокс класичної фізики – невідповідність теорії експерименту – отримав назву «ультрафіолетової катастрофи».

Цю проблему розв’язав Макс Планк, коли висловив гіпотезу, що процес випромінювання і поглинання світла відбувається не безперервно, а дискретними порціями (квантами), енергія яких визначається формулою:

$$\varepsilon = h \cdot \nu, \quad (10)$$

де h – універсальна константа, яку називають сталою Планка [2, с. 185–189]. За допомогою нових уявлень про природу випромінювання Планк відкрив функцію розподілу енергії випромінювання АЧТ за частотами:

$$r^*(\nu, T) = \frac{2\pi\nu^2}{c^2} \frac{h\nu}{e^{h\nu/kT} - 1}, \quad (11)$$

яка дуже точно відтворює експериментальну криву $r^*(\nu, T)$, і дозволяє підтвердити експериментальні дані випромінювання АЧТ.

На описаних закономірностях теплового випромінювання ґрунтується пірометрія – область технічних застосувань для безконтактного вимірювання температури тіл. Сукупність оптичних методів визначення температур, які ґрунтуються на законах рівноважного випромінювання, називається оптичною термометрією, а методи вимірювання високих температур називаються оптичною пірометрією [3, с. 269–271]. Залежно від того, який із законів випромінювання покладено в основу методу вимірювання, розрізняють три умовні температури: *радіаційну, яскравісну та колірну*, та відповідно, три види пірометрів.

Під *радіаційною* розуміють температуру АЧТ, при якій його ВЗ однакова з ВЗ тіла, температуру якого визначають. Радіаційну температуру вимірюють радіаційним пірометром, об'єктив якого дає змогу одержати чітке зображення джерела світла на приймачі. Пірометри попередньо градуують за допомогою АЧТ, температура якого відома.

Під *яскравісною* розуміють температуру АЧТ, при якій його ВЗ дорівнює ВЗ досліджуваного тіла для тієї самої довжини хвилі. Яскравісну температуру вимірюють пірометром із зникаючою ниткою. Принцип його дії полягає в тому, що зображення поверхні нагрітого тіла, температуру якого визначають, суміщають із площиною нитки лампи розжарення, яка вмикається в електричне коло. Поверхня тіла і нитка спостерігаються через окуляр. Якщо температура нитки нижче температури досліджуваного тіла, то нитка має вигляд темної смужки на тлі зображення тіла, а якщо температура нитки вище температури тіла, то нитка буде більш світлою, ніж поверхня тіла. Змінюючи силу струму, можна змінювати яскравість нитки. Коли яскравості нитки і досліджуваного тіла зрівняються, нитка «зникає», а їхні температури будуть однакові. Міліамперметр попередньо градуують у градусах за допомогою випромінювання АЧТ. Коли величина ПЗ випромінювального тіла відома, то за яскравісною температурою можна визначити справжню температуру тіла.

Під *колірною* розуміють температуру АЧТ, при якій спектральний склад його випромінювання однаковий із спектральним складом досліджуваного тіла. Поняття колірної температури застосовується до сірих тіл. Для тіл, у яких проявляється селективність випромінювання, поняття колірної температури не має змісту. Ряд реальних випромінювачів (оксиди металів, кераміка, графіт та ін.) практично являють собою сірі тіла. Для не сірих тіл колірна температура вища за справжню температуру. Колірна температура більшості твердих тіл і рідин значно менше відрізняється від справжньої температури, ніж радіаційна чи яскравісна.

За допомогою оптичних пірометрів вимірюють не справжні, а умовні температури: радіаційну, яскравісну і колірну, за якими можна розрахувати справжню температуру тіла, якщо відомі його оптичні характеристики.

Для зменшення витрат часу на дослідження розрахунки фізичних величин необхідно автоматизувати. На наш погляд, розрахунки фізичних величин, та в подальшому навчальні та інженерні розрахунки морським інженерам доцільно програмувати в Google Sheets. Головна перевага цього безкоштовного табличного онлайн-редактора з потужними обчислювальними можливостями полягає в тому, що таблиці зберігаються в хмарі, синхронізуються автоматично, і до них можна отримати доступ з будь-якого місця з будь-якого пристрою і в будь-який час [4].

Для подолання розриву між знаннями теоретичних законів теплового випромінювання, та їх практичним застосуванням, потрібно вияснити, які саме пірометри застосовуються на суднах, та в яких саме судових системах. Пошук відповіді на ці запитання пропонується курсантам здійснити за допомогою ChatGPT. ChatGPT – це система штучного інтелекту (ШІ) для генерації текстів, яка базується на алгоритмах глибокого навчання. Розробники мовної моделі, компанія OpenAI [5], постійно докладають зусиль для розвитку та оновлення ChatGPT. На наш погляд, використання ChatGPT – це наразі найкращий спосіб пошуку нової, ще не опублікованої у підручниках та навчальних посібниках, інформації.

Для ефективного використання ChatGPT розроблені конкретні рекомендації [6]:

1) щоб отримати бажаний результат, потрібно надати ChatGPT максимально конкретні текстові вказівки;

2) ChatGPT навчався на даних з багатьох мов, але кількість англійського тексту в навчальному матеріалі значно більша, тому для покращення результату слід виконувати запити англійською;

3) ChatGPT обробляє до 4096 токенів у вхідних даних, будь-який символ, що перевищує цю кількість, ігнорується без повідомлення. Токен приблизно еквівалентний слову, в залежності від випадку використання;

4) Генерацію відповідей можна зупинити за допомогою кнопки «Стоп» над полем введення, якщо зрозуміло, що ChatGPT рухається в неправильному напрямку;

5) якщо під час чату було введено надто багато даних, може бути корисно почати новий чат, щоб наступні відповіді не були зіпсовані;

6) ввічливі фрази на кшталт «будь ласка» і «дякую» є зайвими.

За допомогою ChatGPT виконано пошук інформації щодо світових наукових досліджень в області теплового випромінювання протягом останніх п'яти років. Це дослідження ефективності концепції гарячої стіни на основі використання наночастинок для зменшення випромінювання тепла в паливних камерах газотурбінних двигунів; моделювання теплового випромінювання та створення математичної моделі прогнозування теплового випромінювання від об'єктів з високою температурою; аналіз впливу факторів на теплове випромінювання від газових плям; дослідження суттєвого впливу форми поверхні тіла (сферична, циліндрична, конічна та прямокутна) на випромінювання тепла з поверхонь з різними покриттями; дослідження взаємодії світла з метаматеріалами для зменшення теплового випромінювання [5]. Метаматеріали – це штучні матеріали з незвичайними властивостями. Вони складаються з мікроструктур, які розміщені на відстані порівнянній з довжиною електромагнітної хвилі. Такі

структури можуть здійснювати контрольовану маніпуляцію світлом, здатні блокувати, змінювати напрямок, розсіювати або поглинати електромагнітні хвилі різних довжин, включаючи світло, інфрачервоне випромінювання та радіохвилі. Метаматеріали мають потенціал для розвитку різноманітних технологій, таких як надшвидкі обчислення, покращення ефективності електроніки, медичних приладів, сенсорів, антен, сонячних батарей та інших пристроїв. Проте, слід зазначити, що застосування метаматеріалів наразі не є широко поширеним через технічні труднощі в їх виготовленні, складність управління їх властивостями, та високі витрати на дослідження та виробництво [5].

ChatGPT не тільки генерує унікальні тексти за запитом. Ця система ШІ здатна стати дієвим, швидким та продуктивним асистентом студента та викладача, система здатна генерувати плани, ідеї, питання, тести, презентації тощо. При цьому існує застереження – використання ChatGPT як єдиного джерела інформації в академічних умовах не рекомендується, оскільки система не здатна відокремити правду від вигадки [7], тому отриману інформацію слід перевіряти на основі більш достовірних джерел.

Для розвитку компетентностей з фізики, та наближення теоретичних знань здобувачів до практичного їх застосування у вирішенні фахових задач, ми рекомендували курсантам використовувати ChatGPT для пошуку нової інформації щодо судових пірометрів після отримання знань з ґрунтового навчального посібника [3]. Таким чином, експериментальне дослідження явища теплового випромінювання, пошук за допомогою ChatGPT актуальної інформації щодо використання пірометрів в судових системах, та її аналіз є актуальною крос-дисциплінарною задачею, та обумовлює мету роботи.

Мета та завдання роботи. *Метою роботи є підвищення рівня розвитку фахових компетентностей курсантів-судномеханіків шляхом розробки та апробації методики дослідження, яка поєднує фізичний експеримент явища теплового випромінювання, використання ChatGPT для пошуку інформації, та аналіз інформації щодо застосування пірометрів в судових системах.*

Для досягнення мети роботи необхідно розробити та виконати *покрокову методику дослідження*, яка детально описує виконання таких завдань:

- 1) провести фізичний експеримент з дослідження явища теплового випромінювання, розрахувати значення поглинальної здатності та інтегральної якравості для АСТ в табличному онлайн-редакторі Google Sheets;
- 2) за допомогою ChatGPT отримати актуальну інформацію щодо характеристик, особливостей, переваг, недоліків та областей застосування пірометрів у судових системах;
- 3) проаналізувати інформацію та побудувати класифікацію пірометрів.

Виклад основного матеріалу дослідження. *Розробка та виконання покрокової методики дослідження.*

Крок 1. Фізичний експеримент з дослідження явища теплового випромінювання. Для експерименту необхідно використати лабораторну установку, електрична схема якої показана на рис. 4.

В установці в якості АСТ використовується вольфрамова нитка лампи розжарювання з площею $S = 1,1 \cdot 10^{-6} (\text{м}^2)$. Випромінювання нитки в інтервалі температур

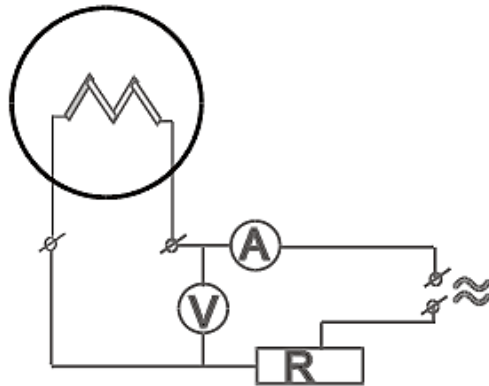


Рис. 4. Схема лабораторної установки

800–2000°C несуттєво відрізняється від випромінювання АСТ. При заданих значеннях сили струму I визначають значення напруги U , і вимірюють температуру розжарення лампи пірометра зі «зникаючою ниткою». Значення температури визначається за градурувальною кривою, графік якої нанесений на міліметровий папір, та входить до складу установки. На рис. 5 зображені курсанти Дунайського інституту Національного університету «Одеська морська академія» в лабораторії фізики в процесі виконання експерименту.

Виміри значень U і T при кожному значенні сили струму курсанти виконують три рази. Результати вимірів заносять в 2, 3, 4 колонки таблиці 1. Колонки 5, 6 і 7 розраховані за допомогою табличного онлайн-редактора Google Sheets.



Рис. 5. Курсанти в процесі виконання експерименту

В 5 колонці розрахована електрична потужність лампи. В 6 і 7 колонках розраховані відхилення для обчислення похибок.

Таблиця 1

Отримані експериментальні дані

№	$I (\mu A)$	$U (B)$	$T (K)$	$P = IU (Bm)$	$\Delta T (K)$	$\Delta T^2 (K)^2$
1	23	1,4	1160	32,2	76,6667	5877,7778
2	40	1,6	1230	64	6,6667	44,4444
3	60	1,8	1320	108	-83,3333	6944,4444
Середні значення	41	1,6	1236,6667	68,0667		4288,8889

Крок 2. Виведення розрахункових формул. Оскільки ПЗ для АСТ постійна і не залежить від частоти, закон Кірхгофа можна записати так:

$$r(v, T) = ar^*(v, T) \quad (12)$$

Інтегруючи цей вираз по частоті в межах від нуля до нескінченності, отримаємо наступний вираз:

$$\alpha = \frac{R_3}{R_3^*}, \quad (13)$$

де R_3 і R_3^* – інтегральні ВЗ для АСТ та АЧТ. При сталому процесі випромінювання потужність електричного струму, що підводиться до лампи, цілком перетворюється в енергію випромінювання, і визначається формулою:

$$R_3 = \frac{P}{S}, \quad (14)$$

де $P = IU$ – електрична потужність лампи, а S – площа вольфрамової нитки лампи розжарювання. Підставляючи R_3 з формули (14) і R_3^* з формули (6) у формулу (13), отримаємо формулу розрахунку ПЗ для СТ:

$$\alpha = \frac{IU}{\sigma T^4 S}, \quad (15)$$

В умовах даного експерименту випромінювальна здатність пропорційна яскравості тіла. За законом Стефана-Больцмана інтегральна яскравість (ІЯ) для АЧТ:

$$B_{АЧТ} = \frac{1}{\pi} \sigma T^4, \quad (16)$$

де стала Стефана-Больцмана $\sigma = 5,71 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}^4$.

Тоді ІЯ для АСТ:

$$B_{АСТ} = \frac{1}{\pi} a \sigma T^4, \quad (17)$$

де a – ПЗ для АСТ.

Крок 3. Виконання розрахунків. На рис.6 зображені курсанти Дунайського інституту Національного університету «Одеська морська академія» в лабораторії фізики під час виконання розрахунків в табличному онлайн-редакторі Google Sheets.

За формулою (15) курсанти розрахували значення ПЗ для АСТ $a = 0,4465$.

За формулою (17) розраховано значення ІЯ для АСТ $B_{АСТ} = 18992,4725$.

Отримані значення ПЗ та ІЯ для АСТ цілком підтверджують теоретичні положення квантової фізики, та наочно демонструють принцип дії пірометрів.

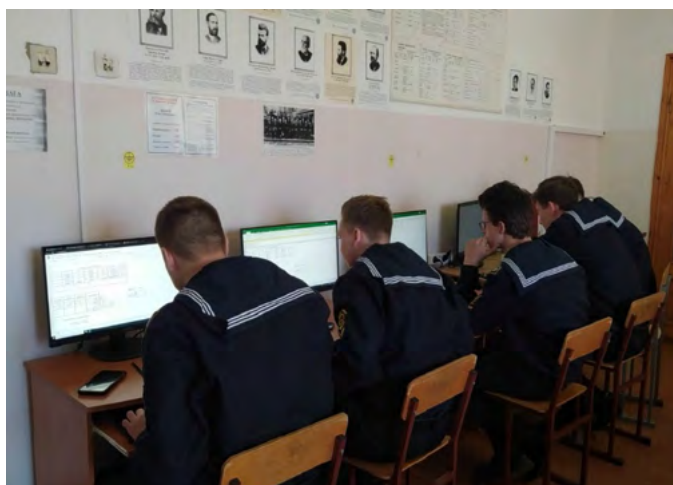


Рис. 6. Курсанти під час виконання розрахунків

Крок 4. Формування питань для пошуку інформації щодо застосування пірометрів у суднових системах за допомогою ChatGPT. На запит викладача ChatGPT запропонував такі питання для пошуку інформації:

1. Які основні принципи роботи суднових пірометрів та як вони можуть бути використані на морських суднах?
2. Які параметри можуть бути виміряні за допомогою суднових пірометрів, та як ці дані можуть бути використані для моніторингу технічного стану судна?
3. Які види пірометрів найчастіше використовуються на морських суднах, та які переваги та недоліки мають ці пристрої?
4. Які чинники можуть впливати на точність вимірювання температури за допомогою суднових пірометрів, та як ці фактори можуть бути враховані при їх використанні?
5. Які інші технічні засоби можуть використовуватися для вимірювання температури на морських суднах та які переваги та недоліки мають ці пристрої порівняно з судовими пірометрами?
6. Які відомі класи пірометрів за виконуваними функціями, застосуванням в системах, та вартістю.
7. Назвіть відомі компанії-виробники пірометрів, які використовуються на морських суднах, та дайте посилання на сайти компаній.

Отримані питання були запропоновані курсантам для пошуку інформації.

Крок 5. За допомогою ChatGPT пошук інформації щодо застосування пірометрів у суднових системах. Для пошуку інформації ChatGPT курсанти зареєструвалися на ресурсі [5]. Процес реєстрації дуже простий та займає кілька хвилин. Кожний курсант в процесі спілкування з ChatGPT отримав докладну відповідь на одне запитання.

Крок 6. Перевірка інформації щодо застосування пірометрів у суднових системах.

– Інформація, надана ChatGPT, була перевірена з використанням навчального посібника [8], і визнана достовірною, за винятком наданих ChatGPT посилань

на сайти. Перевірка посилань показала, що із дев'яти посилань шість посилань (66%) виявилися непрацюючими. На наш погляд, дві третини посилань встигли застаріти за час навчання та випробування системи ШІ.

Крок 7. Аналіз інформації щодо застосування пірометрів у суднових системах. Пірометри використовуються на судах для контролю температури різного обладнання та систем для забезпечення безпечної та ефективної роботи. Виходячи з функціональності та систем застосування, судові пірометри можна класифікувати наступним чином:

– *Пірометри безконтактні* призначені для вимірювання температури поверхонь без контакту з ними. Вони використовуються для вимірювання температури компонентів, до яких важко дістатися, таких як системи вихлопних газів та котли. Це інфрачервоні пірометри та волоконно-оптичні пірометри.

– *Пірометри контактні* призначені для вимірювання температури поверхонь при безпосередньому контакті. Вони використовуються для вимірювання температури компонентів двигуна, таких як поршні, підшипники та вали, і містять у своєму складі терморезистори та резистивні датчики температури (resistance temperature detectors RTDs).

– *Пірометри вихлопних газів* застосовуються для контролю продуктивності і температури вихлопних газів судового двигуна.

– *Пірометри котлів* використовуються для забезпечення його безпечної та ефективної роботи.

– *Пірометри судових турбін* використовуються для контролю продуктивності та забезпечення безпечної роботи.

– *Пірометри судових печей* використовуються для забезпечення безпечної та ефективної роботи.

Пірометрам властиві такі *переваги*:

1) *точність вимірювання* – пірометри точно вимірюють високі температури, що важливо для моніторингу обладнання морських і річкових суден;

2) *безконтактність вимірювання* – пірометри не потрібно фізично вставляти у вимірюване обладнання. Це необхідно для обладнання, до якого важко отримати доступ, або там, де введення температурного зонду може бути небезпечним;

3) *висока швидкість вимірювання* – пірометри забезпечують швидкі покази температури, що може бути дуже корисним для виявлення змін температури, які можуть вказувати на проблему з обладнанням;

4) *портативність та простота* у використанні, що робить їх зручним інструментом для контролю температури.

Пірометрам властиві такі *недоліки*:

1) *обмежений діапазон вимірювань* – пірометри обмежені не здатні точно вимірювати занадто низькі або занадто високі температури поза діапазоном;

2) *чутливість до умов* навколишнього середовища – пилю, вологість і вібрації можуть впливати на точність вимірювання;

3) *необхідність калібрування* – пірометри потрібно періодично калібрувати, щоб забезпечити їх точність, що може зайняти багато часу і може вимагати спеціалізованого обладнання;

4) *висока вартість* – пірометри можуть бути відносно дорогими, особливо моделі з більш високою точністю і більш широкими температурними діапазонами.

Вартість різних моделей пірометрів змінюється залежно від різних факторів, таких як точність пристрою, діапазон вимірювань та додаткові функції, такі як можливості реєстрації даних. *Базова модель* пірометра з одним температурним зондом і простим дисплеєм може коштувати від \$100 до \$200. *Модель середнього класу* з декількома температурними зондами та цифровим дисплеєм може коштувати від \$300 до \$500. *Високоякісна модель* з декількома температурними зондами, можливостями реєстрації даних та розширеними функціями, такими як підключення Bluetooth, може коштувати від \$700 до \$1000 або більше. *Модель професійного класу* з високою точністю, декількома температурними зондами та додатковими функціями, такими як аналіз даних в режимі реального часу та налаштовані сигнали тривоги можуть коштувати понад \$1000. Наведена вартість є приблизною, і може змінюватися в залежності від марки, моделі та додаткових функцій. Також мають бути враховані витрати на встановлення та калібрування пірометрів.

Найчастіше на суднах застосовуються пірометри вихлопних газів та пірометри котлів, через їх важливість у моніторингу температури двигуна та котла для безпечної та ефективної роботи. Найвідоміші у світі виробники пірометрів для судових систем – це американські компанії «FLIR Systems», «Raytek», «Williamson Corporation», британська «Land Instruments International», німецька «Optris».

Крок 8. Розробка класифікації пірометрів судових систем. Проведений аналіз дозволив курсантам сформувавши багатоаспектну класифікаційну схему пірометрів (рис. 7) у текстовому онлайн-процесорі *Google Docs* [9].

Крок 9. За допомогою ChatGPT створення тестів для перевірки знань курсантів щодо застосування пірометрів у судових системах. На запит викладача *ChatGPT* сформував тести з трьома варіантами відповідей стосовно застосування пірометрів в судових системах:

1. Який принцип роботи мають судові пірометри? а) Вимірюють температуру за допомогою контактних елементів б) Вимірюють температуру за допомогою інфрачервоного випромінювання с) Вимірюють температуру за допомогою мікрохвильового випромінювання (рис. 7).

2. Які параметри температури можуть бути виміряні за допомогою судових пірометрів? а) Тільки температура повітря б) Тільки температура металевих поверхонь с) Температура повітря, металевих поверхонь та інших матеріалів.

3. Як можуть бути використані дані з судових пірометрів для моніторингу технічного стану судна? а) Для вимірювання температури палива б) Для вимірювання температури води у системі охолодження с) Для вимірювання температури трубопроводів та інших компонентів судна.

4. Який фактор може впливати на точність вимірювання температури за допомогою судових пірометрів? а) Відстань між судном та об'єктом вимірювання б) Кут нахилу судна відносно об'єкту вимірювання с) Відстань між пірометром та об'єктом вимірювання.

5. Який інший технічний засіб може бути використаний для вимірювання температури на морських суднах порівняно з судовими пірометрами? а) Термометр з плаваючою стрічкою б) Термопара с) Градусник з ртуттю.

На запит викладача *ChatGPT* сформував правильні відповіді на тести: 1-й тест б) Вимірюють температуру за допомогою інфрачервоного випромінювання;

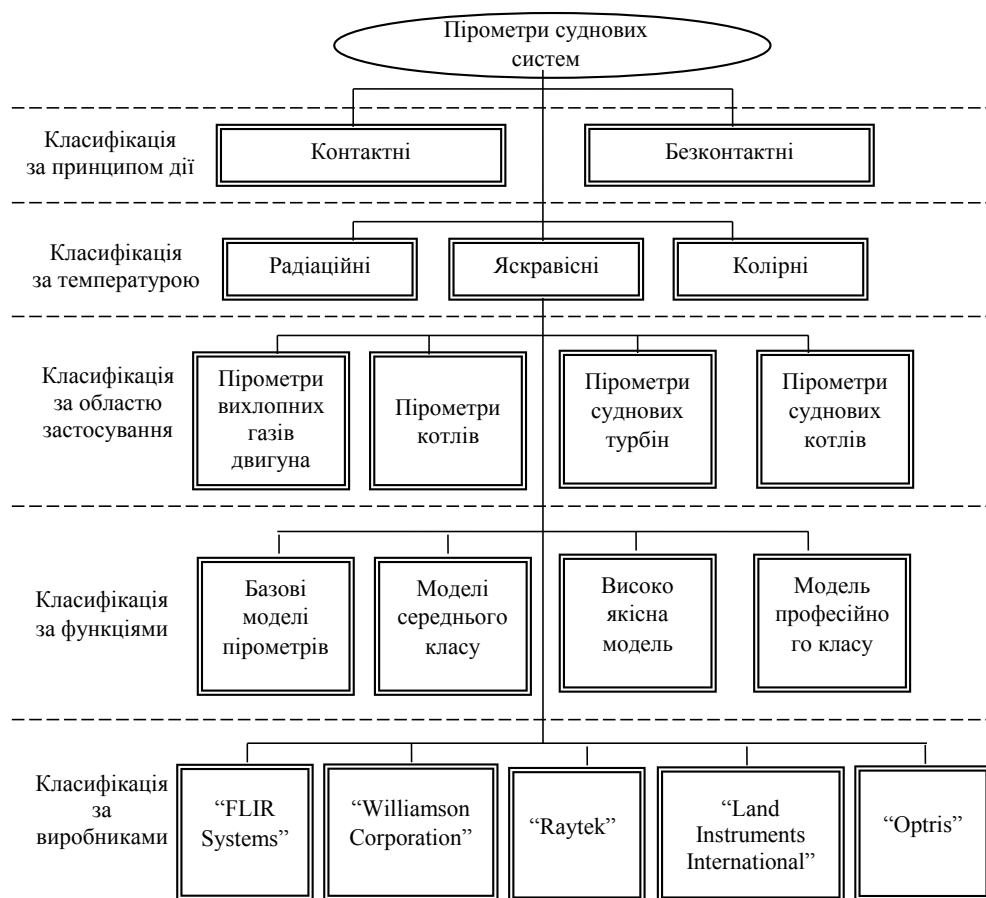


Рис. 7. Багатоаспектна класифікаційна схема пірометрів суднових систем

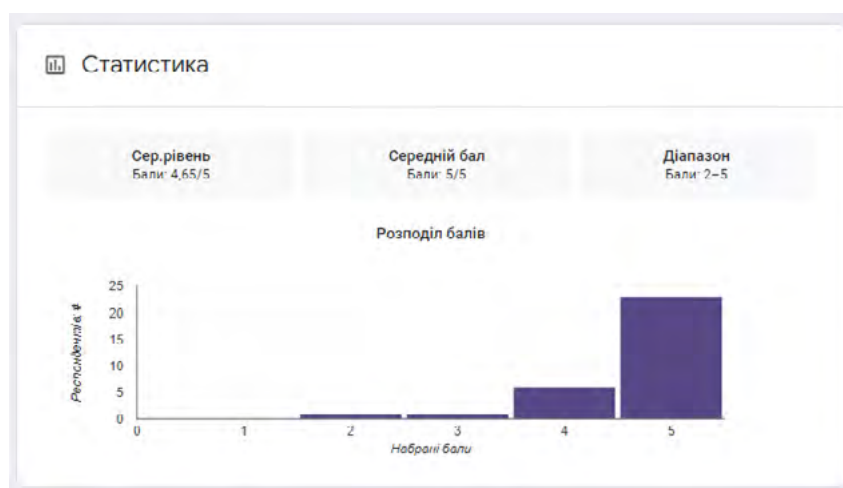


Рис. 8. Результати тестування знань курсантів за тестами від ChatGPT

2-й тест с) Температура повітря, металевих поверхонь та інших матеріалів; 3-й тест с) Для вимірювання температури трубопроводів та інших компонентів судна; 4-й тест а) Відстань між судном та об'єктом вимірювання; 5-й тест б) Термопара.

Крок 10. Контроль знань курсантів з використанням тестів від ChatGPT. Тестування проводилось за допомогою програмного забезпечення адміністрування опитування Google Forms [10]. Отримані результати тестування показані на рис. 8.

Результати тестування показують, що більшість курсантів відповіли правильно на всі п'ять запитань, середній бал становить 4,65 за п'ятибальною шкалою, що засвідчує високий рівень знань курсантів з даної теми.

Таким чином, власноруч проведений курсантами наочний фізичний експеримент, автоматизація розрахунків в Google Sheets, залучення мовної моделі ШІ ChatGPT до пошуку інформації, аналіз інформації, побудова класифікації пірометрів судових систем в Google Docs, та використання тестів від ChatGPT для контролю знань курсантів в Google Forms – всі ці активності загалом підвищили рівень розвитку фахових компетентностей майбутніх морських інженерів, і забезпечили підвищення: 1) абсолютної успішності (відношення кількості курсантів, що склали іспит з фізики, до загальної кількості курсантів у групі) на 16%; 2) якості навчання (відношення кількості курсантів з оцінкою «добре» та «відмінно» до загальної кількості курсантів на іспиті) на 11%.

Висновки. В роботі обґрунтована необхідність поглиблення знань та розумінь законів, явищ та процесів теплового випромінювання шляхом проведення курсантами фізичного експерименту. Описана проблема недостатнього зв'язку між теоретичними знаннями курсантів-судномеханіків законів теплового випромінювання та їх практичним застосуванням в пірометрах судових систем.

Проведений аналіз літературних джерел дозволив визначити фізичні величини, моделі, основні закони та методи визначення температур нагрітих тіл, які використовуються в пірометрах для контролю температури різноманітного судового обладнання з метою забезпечення його безпечної та ефективної роботи.

Розроблена покрокова методика, яка описує: лабораторне дослідження явища теплового випромінювання; виконання розрахунків поглинальної здатності та інтегральної якравості для АСТ в табличному онлайн-редакторі Google Sheets; пошук за допомогою системи ШІ ChatGPT інформації щодо характеристик, особливостей, переваг, недоліків та областей застосування пірометрів у судових системах; аналіз інформації та розробку багатоаспектної класифікаційної схеми пірометрів судових систем. Під час обговорення курсантами можливостей ChatGPT визначені переваги системи: простота використання, швидкість надання запитаної інформації, допомога у виконанні різноманітних завдань. Водночас курсантами відмічена неможливість використання ШІ без участі людини в складних системах управління через неможливість передбачення та навчання системи для усіх можливих комбінацій ситуацій та подій.

Запропонована методика апробована на лабораторних заняттях з фізики у групі курсантів-судномеханіків з досягненням позитивного результату. Проведення фізичного експерименту, автоматизація розрахунків та залучення мовної моделі ШІ ChatGPT до розвитку фахових компетентностей майбутніх морських інженерів

дали змогу підвищити абсолютну успішність на 16% та якість навчання на 11%, що було встановлено за результатами іспитів.

В роботі застосований крос-дисциплінарний підхід, який поєднує теоретичні знання та практичні навички в області фізики, інформаційних технологій та системного аналізу. Подальша робота буде спрямована на дослідження та апробацію методів ефективного використання систем ШІ в навчальному процесі здобувачами освіти та викладачами, з визначенням ступеню доцільності використання методів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Михайленко В.І., Білоус В.М., Поповський Ю.М. Загальна фізика : навчальний посібник. Одеса : ВидавІнформ ОНМА, 2012. 475 с.
2. Петченко О.М., Сисоєв А.С., Назаренко Є.І. Загальні основи фізики. Навчальний посібник з курсу «Фізика». Харків : ХНУМГ, 2007. 224 с.
3. Кучерук І.М., Горбачук І.Т. Загальний курс фізики: У 3 т. : навч. посіб. для студ. вищ. техн. і пед. закл. освіти. Т. 3. Оптика. Квантова фізика / за ред. І.М. Кучерука. Київ : Техніка, 1999. 520 с.
4. Як працювати з Google Spreadsheets. URL: <https://netpeak.net/uk/blog/povniy-gayd-iz-roboti-z-google-spreadsheets/> (дата звернення: 01.04.2023).
5. Welcome to ChatGPT. URL: <https://chat.openai.com/> (дата звернення: 01.02.2023).
6. Посібник з ChatGPT: Шість основних стратегій швидкого введення запитів для кращих результатів. URL: https://24tv.ua/tech/shist-strategiy-efektivnogo-vvedennya-zapitiv-dlya-krashhih-rezultativ_n2261585 (дата звернення: 01.04.2023).
7. Як використовувати ChatGPT для навчання. П'ять етичних способів, які будуть для вас корисними. URL: <https://techno.nv.ua/ukr/it-industry/chatgpt-dlya-navchannya-50316103.html> (дата звернення: 01.04.2023).
8. Виноградов-Салтиков В.О., Єщенко О.І., Бірюков Д.В. Особливості вимірювання температури пірометрами. Навчальний посібник. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 35 с. URL: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/47724/1/Teplotekhnichni_vymiruvannia_Osoblyvosti_vymiruvannia_temperatury_pirometramy.pdf (дата звернення: 01.04.2023).
9. Як користуватись Google Docs? ІНСТРУКЦІЯ. URL: <https://cybercalm.org/novynu/yak-korystuvatys-google-docs-instruktsiya/> (дата звернення: 01.04.2023).
10. Google Forms – від простого до найпростішого. URL: <https://elit-web.ua/ua/blog/google-forms> (дата звернення: 01.04.2023).

REFERENCES

1. Mihajlenko, V.I., Bilous, V.M., Popovskij, Yu.M. (2012). General Physics: Tutorial [Zagalna fizyka: Navchalnyj posibnyk]. – Second edition, revised and supplemented – Odessa: VydavInform ONMA, 475 p. [in Ukrainian].
2. Petchenko O.M., Sysoiev A.S., Nazarenko Ye.I., Bezuhlyi A.V. (2007) General fundamentals of physics. Textbook on the course "Physics"

- [Zahalni osnovy fizyky. Navchalnyi posibnyk z kursu «Fizyka»]. – Kharkiv: Kharkiv National University of Urban Economy, 224 p. [in Ukrainian].
3. Kucheruk I.M., Horbachuk I.T. (1999) General physics course: In 3 volumes: a textbook for students of higher technical institutions of education. Volume 3. Optics. Quantum physics [Zahalnyi kurs fizyky: U 3 tomakh: navchalnyi posibnyk dlia studentiv vyshchych tekhnichnykh zakladiv osvity. T.3. Optyka. Kvantova fizyka]. / Edited by I.M. Kucheruk. – Kyiv: Tekhnika, 520 p. [in Ukrainian].
 4. NETPEAK JOURNAL (2023). How to work with Google Spreadsheets [Iak pratsiuvaty z Google Spreadsheets]. Retrieved from: <https://netpeak.net/uk/blog/povniy-gayd-iz-roboti-z-google-spreadsheets/> [in Ukrainian].
 5. CHATGPT (2023). New chat. Retrieved from: <https://chat.openai.com/> [in English].
 6. CHATGPT GUIDE (2023). Six main strategies for quickly entering queries for better results [Posibnyk z ChatGPT: Shist osnovnykh stratehii shvydkoho vvedennia zapytiv dlia krashchych rezultativ]. Retrieved from: https://24tv.ua/tech/shist-strategiy-efektivnogo-vvedennya-zapitiv-dlya-krashchih-rezultativ_n2261585 [in Ukrainian].
 7. NEW VOICE TECHNO (2023). How to use ChatGPT for training. Five ethical ways that will be useful for you [Iak vykorystovuvaty ChatGPT dlia navchannia. Piat etychnykh sposobiv, yaki budut dlia vas korysnymy]. Retrieved from: <https://techno.nv.ua/ukr/it-industry/chatgpt-dlya-navchannya-50316103.html> [in Ukrainian].
 8. Vynogradov-Saltykov V.O., Yeshchenko O.I., Biriukov D.V. (2022) Features of temperature measurement by pyrometers. Tutorial [Osoblyvosti vymiriuvannia temperatury pirometry. Navchalnyi posibnyk]. – Kyiv: Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 358 p. Retrieved from: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/47724/1/Teploekhnichni_vymiriuvannia_Osoblyvosti_vymiriuvannia_temperatury_pirometry.pdf [in Ukrainian].
 9. CYBERCALM (2023). How to use Google Docs? INSTRUCTION [Iak korystuvatys Google Docs? INSTRUKTSIA]. Retrieved from: <https://cybercalm.org/novyiny/yak-korystuvatys-google-docs-instruktsiya/> [in Ukrainian].
 10. ELIT-WEB (2023). Google Forms – from simple to simple [Google Forms – vid prostoho do naiprostishoho]. Retrieved from: <https://elit-web.ua/ua/blog/google-forms> [in Ukrainian].